

# Untersuchungen über die Sandlückenfauna der bremischen Langsamfilter

Husmann, Siegfried

Veröffentlicht in:  
Abhandlungen der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 10, 1958,  
S.93-116



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

# Untersuchungen über die Sandlückenfauna der bremischen Langsamfilter

Von Siegfried Husmann, Braunschweig

Vorgelegt von Herrn C. R. Boettger

Eingegangen am 17. Juli 1958

Herrn Professor Dr. C. R. Boettger zum 70. Geburtstag gewidmet.

*Summary: Layers of sand in "slow filters" of the waterwork in Bremen have been tested hydrobiologic, in order to find out, if this basis is colonized by subterraneous organisms in similar manner as natural deposits of sands filled with ground water. In contrast to the hitherto existing perception the tested sands of filters have proved as artificial biotops of characteristical metazoons of the interstitial fauna (Nematoda, Oligochaeta, Harpacticoida), which live extremely numerous in the nutritious sandlayers of the filters and apparently take part in the process of sand filtration by means of their lifeactions.*

Übersicht: Sandschichten in Langsamfiltern des bremischen Wasserwerkes wurden hydrobiologisch untersucht, um festzustellen, ob diese Substrate auf ähnliche Weise wie natürlich abgelagerte wasserführende Sande von Subterraneanorganismen besiedelt werden. Im Gegensatz zu bisherigen Anschauungen erwiesen sich die untersuchten Filtersande als künstliche Biotope charakteristischer mehrzelliger Elemente der Sandlückenfauna (Nematoda, Oligochaeta, Harpacticoida), die in den nährstoffreichen Sandschichten der Filter überaus massenhaft in Erscheinung treten und durch ihre Lebenstätigkeiten am Prozeß der Sandfiltration offensichtlich erheblich beteiligt sind.

## 1. Einleitung

Die hydrobiologische Erforschung grundwasserführender Sande zeigte sowohl im Binnenlande (2, 9, 10, 11, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 30, 36, 37, 38, 42, 48, 61, 62) als auch in Bereichen des Küstengrundwassers (3, 14, 18, 29, 44, 45, 46), daß intergranulare subterrane Gewässer von charakteristischen Lebensgemeinschaften besiedelt werden. Diese stellenweise arten- und individuenreich auftretende „Sandlückenfauna“ (A. Remane) erreicht allgemein ihre größte Dichte in Substraten mit hohem Detritusgehalt, dort also, wo besonders günstige Nahrungsbedingungen herrschen.

Zweifellos sind diese zwischen Sandkörnern lebenden Grundwassertiere durch den „biologischen Effekt“ ihrer Lebensvorgänge erheblich am Prozeß einer natürlichen Filtration des Grundwassers beteiligt. Daher lag die Vermutung nahe, daß auch in Sandfiltern eine aquatile Subterraneanfauna existieren und an der Auslösung einer biologischen Wasserkörperreinigung beteiligt sein könne. Die bisherige Auffassung, daß dem nicht so sei, die auch neuerdings noch von H. Beger betont wird (4, pag. 238), gab den Anstoß, dieser Frage durch intensive hydrobiologische Untersuchungen nachzugehen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft bin ich zu großem Dank für die finanzielle Hilfe bei der Ausführung dieser Arbeiten verpflichtet. Nicht weniger Dank gebührt Herrn Direktor Dipl.-Ing. K. Kastroll und Herrn Obering.

A. Ohl, Bremen, dafür, daß ich die im Juni 1956 begonnenen Untersuchungen an Sandfiltern der bremischen Wasserwerke ausführen durfte. Folgenden Herren sei auch bei dieser Gelegenheit für die Bestimmung von Filtersandorganismen gedankt: Dr. E. Altherr, Aigle/Schweiz-Nematoda; Prof. Dr. C. Hrabě, Brünn/C. S. R. - Oligochaeta; Dr. W. Noodt, Kiel - Copepoda; Dr. K. Viets, Bremen-Acarina.

## 2. Aufgabe, Beschaffenheit und Wirkungsweise der untersuchten Langsamsandfilter

Die der Aufbereitung des erheblich verunreinigten Weserwassers zu Trinkwasser dienenden Langsamfilter erhalten ihre Wirksamkeit durch die Nachahmung eines Klärungseffektes, der sich in der Natur überall dort abspielt, wo in den Boden eingedrungenes verunreinigtes Oberflächenwasser Sand- und Kiesablagerungen durchströmt.

Da das Rohwasser in den untersuchten Filteranlagen eine Sandschicht von erprobt günstiger Mächtigkeit und besonders wirksamer Korngrößenzusammensetzung zu durchfließen hat, vermag die künstliche Filtration auf beschränktem Raum sogar intensivere Leistungen zu erzielen als ihr natürliches Vorbild.

Die etwa 60–120 cm mächtigen Sandschichten setzen sich aus Substratkomponenten zusammen, die zu etwa 70 Volumprozent einen  $\varnothing$  von 0,20–0,60 mm aufweisen. Die Anteile der darüber- und darunterliegenden Korngrößen verteilen sich allgemein ungefähr in einem Verhältnis, wie es sich beispielsweise für Filter 8 mittels Trocken-Siebanalyse ergab (Abb. 1).

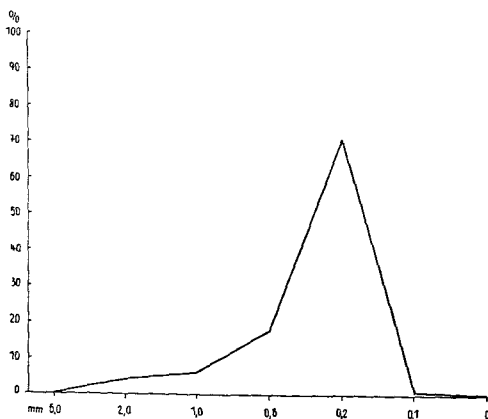


Abb. 1. Korngrößenverteilung von Filtersand aus Becken 8./4. 8. 1956

Die Filtersandschicht wird von Kiesschichten mit zur Tiefe hin steigender Korngröße unterlagert, während die Basis dieser Kiese von faustgroßen Geröllen gebildet wird. Eine derartige Schichtenfolge lagert als Bodenbedeckung in jeweils 50 m langen und 30 m breiten, wasserdicht gemauerten Filterbecken (Abb. 2).

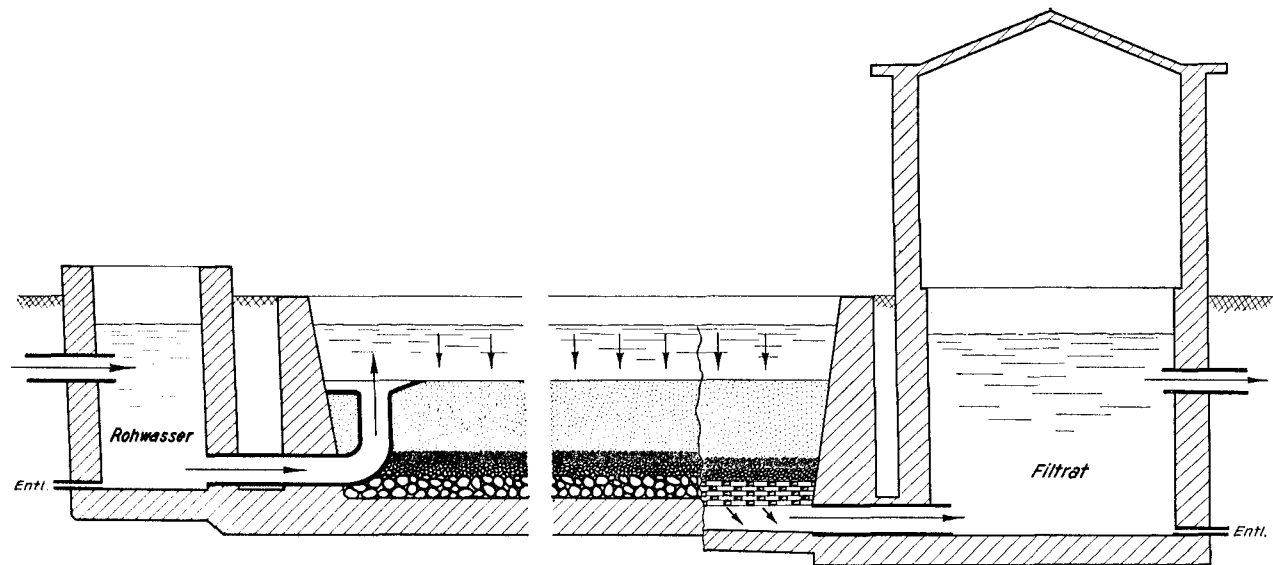


Abb. 2. Schema eines Langsamsandfilters der Bremer Stadtwerke A. G.

Das in die Becken einströmende Weserwasser durchsickert die Filtersandschicht und findet in den zur Tiefe hin stufenweise mit geräumigeren Lückensystemen versehenen Schichten freien Abfluß; und da die betonierten Bodenflächen jeweils von den Längsseitenwänden einer Filteranlage bis zur Mitte des Beckens hin Gefälle haben, strömt das filtrierte Wasser einer der Länge nach mittlen über der Grundfläche verlaufenden Drainageschicht von Ziegelsteinen zu, aus der es in den darunter verlaufenden Filtratkanal gelangt und weiter einem Meßschacht mit Überlaufwehr zufließt, um dann, mit Harzwasser gemischt, einer zweimaligen Chlorung unterzogen zu werden, und zwar zunächst vor dem Einlauf in ein Reinwasserbecken und des weiteren beim Ausfließen aus diesem Behälter. Das gechlorte Mischwasser wird in das Bassin eines Wasserturmes gepumpt, von dem aus das Leitungsnetz der Stadt Bremen mit Trinkwasser gespeist wird.

### 3. Die Beschaffenheit des Rohwassers und des Filtrates

Das in die Langsamsandfilter einfließende Weserwasser ist in seiner Beschaffenheit ein Ergebnis des Zusammenspiels wechselvoller Umweltsbedingungen, die von den Quellregionen des Flußsystems ab bis zum Mündungsgebiet des Stromes wirksam werden, wobei die Wasserführung, der Zufluß an Abwässern und die „biologische Selbstreinigung“ wesentliche Triebkräfte einer steten Wandlung der Wassergüte sind<sup>1)</sup>.

Die Schwingungsweite, in der sich der Chemismus des Rohwassers im Verlauf des Jahres 1956 bewegte (Tabelle 1), zeigt, welchen Veränderungen der Zustand des Weserwassers im Jahreslauf unterworfen ist. Hinsichtlich der

	Min.		Mittel		Max.	
	Weser	Filtrat	Weser	Filtrat	Weser	Filtrat
pH-Wert	7,29	7,18	7,65	7,48	8,37	7,83
KMn O <sub>4</sub> -Vbr. mg/l	17,1	10,4	26,1	15,75	65,7	20,6
Ges. Härte °DH	10,4	13,1	18,5	18,4	23,9	23,4
Karb.-Härte °DH	3,8	4,5	7,5	7,3	10,4	9,0
Alkalität cm <sup>3</sup> HCl/l	13,5	16,0	26,8	26,2	37,0	32,0
CO <sub>2</sub> geb. mg/l	29,7	35,2	59,0	57,6	81,4	70,4
CO <sub>2</sub> fr. mg/l	1,0	5,7	6,9	9,6	14,1	17,6
O <sub>2</sub> sofort mg/l	6,8	5,0	10,5	9,0	15,2	12,6
O <sub>2</sub> n. 48 Stdn. mg/l	5,2	?	9,25	?	13,0	?
NH <sub>4</sub> mg/l	0	0	0-1,4	0-1,1	1,4	1,1
NO <sub>2</sub> mg/l	Sp.	0	Sp.-0,2	0-Sp.	0,2	Sp.
NO <sub>3</sub> mg/l	6,0	9,0	9,6	10,4	14,0	16,0
SO <sub>4</sub> mg/l	91,7	92,0	136,3	136,8	193,5	202,0
Cl mg/l	121,0	121,0	319,5	319,5	571,0	571,0
Ca mg/l	56,5	55,0	83,5	81,3	100,0	98,0
Mg mg/l	19,~	17,4	30,3	29,95	39,5	40,4
Fe mg/l	0,38	0,03	0,81	0,07	3,60	0,16
Mn mg/l	Sp.	0	Sp-0,45	0	0,45	0
Abs.Trübung x 10 <sup>-3</sup>	5,3	0,42	13,44	0,93	103,5	2,7

Tab. 1. Die chemisch-physikalische Beschaffenheit des Weserwassers und des Filtrates im Jahre 1956

<sup>1)</sup> Die Bremer Stadtwerke A.G. gestattete mir in entgegenkommender Weise eine Auswertung der Untersuchungsergebnisse ihres Werklabors. Vergl. auch: A. Ohl [40].

Höhe des hervorstechenden und ökologisch so sehr bedeutsamen Chloridgehaltes (s. S. 101) ist zwangsläufig der jeweilige Wasserstand des Flusses als Verdünnungsfaktor für die Abwässer der Kaliindustrie an Werra und Aller ausschlaggebend (Abb. 3). Doch nur bei derartig löslichen Substanzen hat das Steigen des Weserwassers eine unbedingt verdünnende Wirkung. Es kann beispielweise im Gegensatz dazu möglich sein, daß sowohl Hochwässer als auch Absenkungen des Wasserspiegels zu jeweils hohem Gehalt des Flußwassers an oxydierbaren Bestandteilen führen können (Abb. 4). So lagern sich bei ruhigem Wasser vielfach organische Sinkstoffe — insbesondere auch in Nebenflüssen — als Schlammبانke ab, die von der Hochwasserwelle dann aufgewirbelt und mitgeführt werden. Aber abgesehen von dergestalt „ausräumenden“ Hochwässern liegen die stärksten Verunreinigungsphasen in Zeiten niedriger Wasserstände, also bei geringer Abwasserverdünnung.

Bevor das der Weser entnommene Wasser in die Filtersande eindringt, gelangt es, während seines kurzfristigen Verweilens oberhalb der Sandschicht des Filterbeckens, noch einmal in den Wirkungsbereich autotroph hervorgerufener Reinigungseffekte. Damit unterliegt die Beschaffenheit des in die Filtersandschichten einsickernden Flußwassers bis zuletzt den wechselvollen Einflüssen einer von Natur- und Zivilisationsercheinungen geformten und — was die Gewässerverunreinigung angeht — verformten Umwelt, um dann aber den heterotrophen Bereich der Filter-Anlage, die Sandschicht, weitgehend von Verunreinigungen befreit (Tab. 1 u. 2), zu verlassen; d. h. in einem

	<i>Weserwasser</i>	<i>Filtrat</i>
<i>Januar</i>	8200 - 37500	18 - 306
<i>Februar</i>	1100 - 19550	14 - 470
<i>März</i>	5600 - 250000	18 - 5920
<i>April</i>	2300 - 29200	4 - 84
<i>Mai</i>	960 - 5070	12 - 154
<i>Juni</i>	1020 - 142500	2 - 264
<i>Juli</i>	600 - 14550	2 - 170
<i>August</i>	550 - 24200	0 - 140
<i>September</i>	480 - 5230	0 - 44
<i>Oktober</i>	1180 - 38500	0 - 54
<i>November</i>	4500 - 95200	8 - 389
<i>Dezember</i>	3500 - 41000	11 - 264

Tab. 2. Die Keimzahlbewegungen im Weserwasser und im Filtrat während des Jahres 1956

Zustande, auf Grund dessen von hygienischer Seite keine Einwände dagegen berechtigt erscheinen, das gechlorte Filtrat — mit Grund- und Harzwasser gemischt — für den menschlichen Genuß freizugeben.

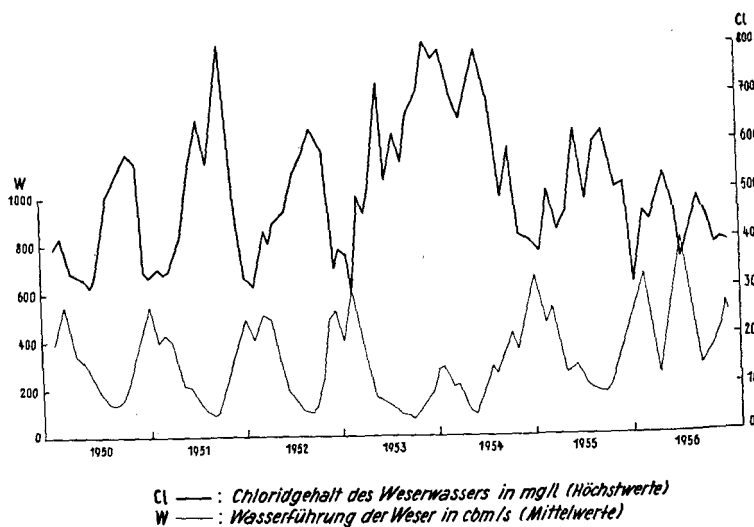


Abb. 3. Der Chloridgehalt des Weserwassers und seine Beziehungen zur Wasserführung des Stromes (1950 bis 1956)

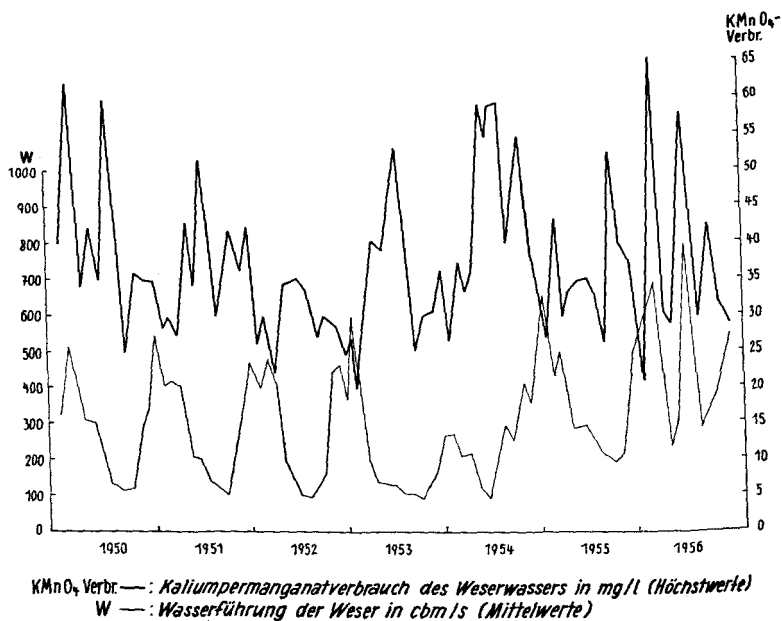


Abb. 4. Der Kaliumpermanganatverbrauch des Weserwassers und seine Beziehungen zur Wasserführung des Stromes in den Jahren 1950–1956

#### 4. Methodik der hydrobiologischen Untersuchung des Filtersandes

Zur Gewinnung eines Einblickes in die vertikale Verteilung der intergranularen Filterfauna wurde jeweils aus einem zur Probeentnahme trockengelegten Filterbecken eine von der Sandoberfläche bis herab zu der den Sand unterlagernden Kiesschicht reichende Substratsäule aus der senkrechten Wand einer hierfür aufgehobenen Grube entnommen. Hierzu erwies sich ein in die Sandwand hineinzudrückender Blechkasten von 10 cm Höhe, 12 cm Breite und einer der Mächtigkeit der zu untersuchenden Sandschicht entsprechenden Länge als gut geeignet.

Den auf diese Weise entnommenen Sandsäulen wurden aus den Tiefenlagen 0—4, 10—14, 20—24 usw. cm jeweils Proben von 100 ccm Sand entnommen. Da Beobachtungen an lebenden Filtersandorganismen zeigten, daß die Fadenwürmer (Nematoda) sich sehr aktiv an Substratkörnern festzusaugen vermögen und die Ringelwürmer (Oligochaeta) durchweg mittels Spinnfäden an Sandkörnern haften, war es zur Gewinnung eines einwandfreien Faunenbildes notwendig, die Sandproben zunächst in ein etwa 15 % iges Formalinbad zu überführen, um anschließend das Substrat und die darin enthaltenen Organismen mittels eines Wasserstrahles in einem Becherglas durcheinanderzuwirbeln und nach Absetzen des Sandes das diesen überschichtende Wasser mit den darin zum Schweben gebrachten fixierten Tieren und Detritusteilchen durch ein Planktonnetz zu gießen. Dieses Verfahren wurde so oft wiederholt, bis das Wasser im Behandlungsgefäß völlig klar erschien und 2—3 in Petrischalen überführte Kontrollfiltrate keine Organismen mehr aufwiesen.

Zum Isolieren der Tiere wurde der je nach Detritusgehalt mehr oder weniger zu verdünnende Filtratrückstand in einer Reihe von Portionen — unter Verwendung einer Binokularlupe — untersucht. Die nach systematischen Einheiten zu trennenden Organismen wurden in „Glasklötze“ überführt, um anschließend ausgezählt und zur späteren Bestimmung konserviert zu werden.

#### 5. Die qualitative Zusammensetzung der Filtersandfauna,

##### Ökologie und Verbreitung der Arten

In den Sandschichten der untersuchten Langsamfilter wurden bisher insgesamt 20 Tierarten festgestellt: 11 Fadenwürmer (Nematoda), 3 Ringelwürmer (Oligochaeta), 5 Ruderfußkrebse (Harpacticoida) und eine Wassermilbe (Halacarida). Die Bearbeitung der Strudelwürmer (Turbellaria) ist noch nicht abgeschlossen.

##### Liste der gefundenen Arten

###### Nematoda:

1. *Rhabditis monhysteroide* SKWARRA 1921
2. *Diplogaster (Diplogaster) rivalis* (LEYDIG 1854) BÜTSCHLI 1873
3. *Plectus tenuis* BASTIAN 1865
4. *Monhystera dispar* BASTIAN 1865
5. *Monhystera agilis* DE MAN 1880
6. *Paracyatholaimus intermedius* (DE MAN 1880)
7. *Chromadorita leuckarti* (DE MAN 1876) FILIPJEV 1930
8. *Tripyla cornuta* SKWARRA 1921



9. *Tripyla (Trischistoma) setifera* DE MAN 1880
10. *Mononchus kastrolli* n. sp. (ALTHERR in litt.)
11. *Trilobus steineri* MIKOLETZKI 1925

## Oligochaeta:

1. *Nais communis* PIGUET 1906
2. *Phallodrilus aquaedulcis* n. sp. (HRABĚ in litt.)
3. *Enchytraeus* sp.

## Copepoda Harpacticoida:

1. *Phyllognathopus viguieri* (MAUPAS 1892)
2. *Nitocra* spec. (aff. *spinipes* BOECK 1864)
3. *Nitocra hibernica* (BRADY 1880)
4. *Nitocra reducta* SCHÄFER 1936
5. *Epactophanes richardi* MRAZEK 1893

## Acarina:

1. *Lobohalacarus weberi quadriporus* (WALTER 1947)

Vergleicht man die Artenzahl der Filtersandfauna mit der artlichen Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften anderer Biotope, so erscheinen die intergranularen Biozönosen der untersuchten Filteranlagen außerordentlich artenarm. Dieser Eindruck wird noch dadurch verstärkt, daß in unserer Artenliste 11 Formen enthalten sind, von denen im gesamten untersuchten Material nur einzelne Individuen angetroffen werden konnten. Diese „Zufallsgäste“ sind im Artengefüge der untersuchten Biozönose praktisch unbedeutend. Es erscheint daher angebracht, bei dem Versuch einer Deutung der in Filtersanden bestehenden Beziehungen zwischen Lebensraum und Lebensgemeinschaft die folgenden, in den zu beurteilenden Biotop versprengten Arten außer Betracht zu lassen:

1. *Rhabditis monhysteroides*
2. *Diplogaster rivalis*
3. *Plectus tenuis*
4. *Monhystera dispar*
5. *Monhystera agilis*
6. *Paracyatholaimus intermedius*
7. *Tripyla setifera*
8. *Trilobus steineri*
9. *Nais communis*
10. *Nitocra hibernica*
11. *Nitocra* spec. (aff. *spinipes*)

Damit verbleiben nur noch 9 Tierarten, die auf Grund ihrer Individuenzahl als charakteristische Sandlückenorganismen der bremischen Langsamfilter gelten dürften.

Diese Armut der Filtersandfauna an biotoptypischen Arten ist zweifellos auf die in Sandlückensystemen sich auswirkenden ökologischen Faktoren zurückzuführen. So bieten beispielsweise die Engräumigkeit der Lückensysteme und die in diesen Hohlräumen herrschende Dunkelheit nur bestimmten Organismen Typen Einlaß und Lebensmöglichkeit, nämlich solchen, die morpho-

logisch und physiologisch auf derartig extreme Umweltsbedingungen eingestellt sind. Es kann daher nicht überraschen, daß die Lebensgemeinschaften von Filtersanden sich hinsichtlich ihrer mehrzelligen Faunenelemente aus Arten zusammensetzen, die wassererfüllte Hohlraum- und Lückensysteme auch als natürliche Biotope besiedeln. Und damit wird die Feststellung einleuchtend, daß die typischen Filtersandtiere ursprünglich grundwasserführende Substratlücken von Sandablagerungen besiedeln, beziehungsweise die mehr oder weniger wassergetränkten Lücken- und Zwischenraumbildungen der Gewebeteile von Moospolstern.

Die Besiedelung der Filtersande durch Faunenelemente solcher natürlichen engräumigen Bereiche wird nun aber innerhalb der bremischen Langsamfilter noch durch den Chemismus des die Sandlückensysteme passierenden Weserwassers in bestimmte Bahnen gelenkt, insofern als der außergewöhnlich hohe Chloridgehalt des Flußwassers (Abb. 3) als weiterer Auslesefaktor wirksam wird.

Das Zusammenspiel der herausgestellten wesentlichen ökologischen Faktoren bedingt eine außerordentlich bezeichnende Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft des untersuchten künstlichen Biotopes. Und zwar ist das Artengefüge dieser Biozönose dadurch gekennzeichnet, daß einige wenige, durch geringe Körpergröße oder langgestreckte Körpergestalt ausgezeichnete Lückensystembewohner, die einen geringen Salzgehalt des besiedelten Wassers beanspruchen, beziehungsweise einen solchen zu ertragen vermögen, das Faunenbild beherrschen.

Zu den „salzliebenden Sandfilterorganismen“, die im übrigen vornehmlich als Elemente des Küstengrundwassers, des Brackwassers, oder binnenländischer Salzquellen bekannt sind, zählen folgende Arten:

1. *Chromadorita leuckarti* (DE MAN) FILIPJEW
2. *Tripyla cornuta* SKWARRA
3. *Nitocra reducta* SCHÄFER

Die engste Bindung an ein Leben in salzhaltigen Biotopen zeichnet unter diesen Sandfilterorganismen den Nematoden *Tripyla cornuta* SKWARRA aus. Dieser Fadenwurm wird von S. A. Gerlach zu jenen Brackwassertieren gestellt, die auf den meso- und oligohalinen Brackwasserbereich beschränkt sind (18, pag. 494). Ebenso eindeutig entstammt der harpacticoiden Ruderfußkrebs *Nitocra reducta* SCHÄFER der Meeresfauna, den W. Noodt als eine „spezifische Brackwasserart“ (39, pag. 184) bezeichnet. Es ist kennzeichnend, daß beide Formen im Verlauf noch nicht abgeschlossener eigener Untersuchungen häufig im Grundwasser von Sanduferbereichen der „versalzenen“ Weser bei Bremen angetroffen werden konnten. Auch die in bremischen Sandfiltern aufgefundene neue Oligochaetenart *Phallodrilus aquaedulcis* n. sp. (HRABĚ in litt.) ist offensichtlich mariner Herkunft, lebt doch die einzige weitere bisher bekannte Art dieser Gattung — *Phallodrilus parthenopaeus* PIERANTONI 1902 — im Golf von Neapel (43, pag. 4). Es ist durchaus möglich, daß *Phallodrilus aquaedulcis* auch im Grundwasser der deutschen Küsten gefunden werden wird, doch darf nicht weniger außer Betracht gelassen werden, daß die Form als marines Faunenelement eine Sonderstellung wie etwa *Troglochaetus beranecki* DELACHAUX einnehmen könnte, d. h., daß *Phallodrilus aquaedulcis* bereits in früheren geologischen Zeiten ins Süßwasser einwanderte, darin heimisch

wurde, und daß nur noch seine Nächstverwandten die marine Herkunft ver-  
raten. Im Gegensatz zu diesen marinen Elementen dürfte der Fadenwurm  
*Chromadorita leuckarti* seiner ausgeprägten Neigung, salzhaltige Lebensstätten  
zu besiedeln, vom Süßwasser aus kommend nachgehen. Mit Recht wird dieser  
Nematode von S. A. Gerlach zu den „euryhalinen Süßwassertieren“ gestellt  
(18, pag. 494), also zu jenen Arten, die deutlich dazu neigen, in oligohaline  
Lebensstätten vorzudringen. Wie sehr diese Tendenz bei *Chromadorita leuckarti*  
zum Artbild gehört, geht aus dem häufigen Auffinden der Form in Salzbio-  
topen der Küsten und des Binnenlandes (1, pag. 13; 16, pag. 31; 31, pag. 20;  
34, pag. 591; 47, pag. 43; 49, pag. 19; 51, pag. 209; 53, pag. 111) hervor.

Der neue Nematode *Mononchus kastrolli* n. sp. ALTHERR in litt.<sup>1)</sup>, der  
neben *Chromadorita leuckarti* und *Tripyla cornuta* die Masse der Filtersand-  
nematoden stellt, kann offensichtlich in seinem ökologischen Verhalten der  
ersteren Art beigeordnet werden, denn auch im salzhaltigen ufernahen Grund-  
wasser der Weser bei Bremen leben beide Formen vergesellschaftet. A. H. Meyls  
Hinweis (35, pag. 85), es sei auffällig, daß immer wieder einzelne Arten der  
Gattung *Mononchus* BASTIAN 1865 im salzhaltigen Wasser der Küstenzone  
gefunden wurden, während die Gattung selber aber dem Süßwasser entstamme,  
spricht ebenfalls dafür, *Mononchus kastrolli* unter gewissem Vorbehalt als  
„euryhalines Süßwassertier“ einzustufen.

Der von Abwässern der Kaliindustrie herrührende Chloridgehalt des Weser-  
wassers bedeutet, wie gezeigt werden konnte, sowohl für eine Gruppe euryhali-  
ner Elemente der Süßwasserfauna als auch für einige Brackwassertiere eine  
„ökologische Schleuse“, die einmal vom Süßwasser her zum natürlichen Brack-  
wasser führt, zum anderen aber auch den Verbreitungsweg von der Nordsee-  
küste ins Binnenland hinein öffnet. Es sei in diesem Zusammenhang auf das  
vom Verfasser 1956 gemeldete Auffinden des Brackwassernematoden *Pro-  
chromadora oerlezyi* (DE MAN 1881) im Grundwasser des Weserufers bei Holz-  
minden (23, pag. 45) hingewiesen.

Mit der oben geschilderten Gruppe eindeutig zur Besiedlung salzhaltiger  
Biotope neigender Elemente der bremischen Filtersandfauna leben drei Süß-  
wassertiere vergesellschaftet, über deren Fähigkeit, geringe Salzgehalte ihres  
Wohngewässers ohne weiteres ertragen zu können, bisher noch nichts be-  
kannt war:

1. *Phyllognathopus viguieri* (MAUPAS)
2. *Eptactophanes richardi* MRAZEK
3. *Lobohalacarus weberi quadriporus* (WALTER)

Die beiden Harpacticiden (Ruderfußkrebse) *Phyllognathopus viguieri* und  
*Eptactophanes richardi* zeigen allgemein in der Wahl ihrer Lebensstätten auf-  
fallende Übereinstimmungen. Beide Formen besiedeln neben grundwasserfüh-  
renden Hohlraum- und Lückenbildungen die verschiedenartigsten englumigen,  
in ihrer räumlichen Ausbildung also dem unterirdischen Biotop entsprechend  
gestalteten Pflanzengewässer. Nicht weniger deutliche Gemeinsamkeiten ver-  
binden diese Arten auch in morphologischer und besiedelungsgeschichtlicher  
Hinsicht. Sie sind augenlos; und ihre Blindheit ließ bereits P. A. Chappuis



















<sup>1)</sup> Die Art wurde Herrn Dipl.-Ing. Direktor K. Kastroll, Bremen, auf Grund seiner  
aufgeschlossenen Förderung vorliegender Untersuchungen gewidmet.

annehmen, daß unterirdische Gewässer als primäre Lebensstätten beider Arten anzusehen seien, aus denen die Einwanderung in Moospolster erfolgte (6, pag. 529), und zwar dort, wo sich an Grundwasseraustritten Moose ansiedeln.

Schon auf Grund dieser Gegebenheiten kann es nicht überraschen, daß die auch im Grundwasser Norddeutschlands heimischen Krebse (*W. Noodt*, 38, pag. 332; eigene unveröffentl. Befunde) im künstlichen Biotop Sandfilter nebeneinander erscheinen. Eine Vergesellschaftung dieser beiden augenlosen Bewohner enger, dunkler Biotope ist übrigens eine weltweit beobachtete Erscheinung. So fand man die beiden Harpacticiden vielfach als gemeinsame Besiedler pflanzlicher Kleinstgewässer der Tropen; und zwar nicht nur in Moospolstern, sondern auch in Kannen von *Nepenthes ampullaria* (*CHAPPUIS*, 7, pag. 513; *Thienemann*, A., 57, pag. 4), in den Wasserbehältern von *Cyrthandra glabra* (7, pag. 515), im Blattachselwasser von *Colocasia* (7, pag. 513) und selbst im Blütenstand von *Zingiber macradenia* (7, 515). Innerhalb der Moosfauna sind beide Krebse kosmopolitisch verbreitet, doch als Bewohner unterirdischer Gewässer wurden sie zunächst nur in der gemäßigten Zone bekannt. Nachdem aber die Grundwasserbiologie sich neuerdings auch der Untersuchung des tropischen Raumes annahm, konnten beide Arten auch dort im Grundwasser nachgewiesen werden: *Phyllognathopus viguieri* bisher im grundwasserführenden Sandstrand des Tanganjikasees (*P. A. Chappuis*, 12, pag. 70) und im intergranularen Grundwasser sandiger Flußufer Madagaskars (*Chappuis*, 11, pag. 62). *W. Noodt* (briefl. Mitt.) gelang es, beide Ruderfußkrebse im Grundwasser sandiger Substrate in Lateinamerika nachzuweisen!

Wie die Populationsentfaltungen beider Arten in den untersuchten bremischen Filtern beweisen, sind *Phyllognathopus* und *Epactophanes* nicht nur gegenüber dem erhöhten Chloridgehalt, sondern auch hinsichtlich einer nicht geringen Verunreinigung ihres Wohngewässers unempfindlich. In bezug auf *Phyllognathopus* war die letztere Eigenschaft bereits bekannt, fand doch *W. Zieglmayer* (63, pag. 130) die Art im polysaprogenen Grubenwasser eines Steinkohlenbergwerkes im Saargebiet.

Die Wassermilbe (Halacarida) *Lobohalacarus weberi quadriporus* (*WALTER*) wurde bisher ausschließlich in grundwasserführenden Lückensystemen von Sand- und Schotterufern gefunden. *C. Walter* bezeichnet sie als „häufigste und verbreitetste Grundwassermilbe Europas“ (61, pag. 238). Ihre Vergesellschaftung mit *Phyllognathopus viguieri* und *Epactophanes richardi* in den untersuchten Filterständen ist auf Grund der weitgehend übereinstimmenden ökologischen Verteilung dieser drei Arten wohl verständlich. Zweifellos kann *Lobohalacarus weberi quadriporus* aber auch besiedelungsgeschichtlich mit Recht an die Seite der beiden Ruderfußkrebse gestellt werden. Die Nominatform unserer Unterart — *Lobohalacarus weberi weberi* (*ROM.*) — lebt nämlich allgemein in Moospolstern und wurde nur selten in Grundwasserbiotopen gefunden (vgl. *Schwoerbel*, J., 52, pag. 147). Sie rangiert als „Stammform“ unserer ausschließlich subterrän lebenden Unterart, weil von diesen beiden Subspezies zufällig die vorwiegend in Moosen lebende zuerst entdeckt worden ist. Wenn also *C. Walter* die Grundwasserform der Art als Varietät der Moose besiedelnden „Stammform“ (61, pag. 238) bezeichnet, so hat das nur nomenklatorische Bedeutung. In phylogenetischer Hinsicht liegen die Verhältnisse offenbar umge-

	Filter 4 / 18.9.1956			Filter 8 / 4.8.1956			Filter 8 / 17.11.1956			Filter 14 / 22.8.1956			Filter 20 / 10.2.1956			Filter 22 / 27.6.1956			
																			
0-4 cm	61	102	18	77	16	33	26	18	5	138	20	15	29	27	18	108	24	36	0-4 cm
10-14 cm	218	332	28	121	114	19	23	31	6	244	64	2	229	163	33	46	102	24	10-14 cm
20-24 cm	293	256	14	239	235	10	18	34	9	173	32	3	203	242	21	53	104	33	20-24 cm
30-34 cm	348	93	7	196	78	6	56	145	19	82	123	2	143	251	11	116	127	51	30-34 cm
40-44 cm	59	11	22	28	36		73	92	17	89	78	3	84	138	6	116	76	46	40-44 cm
50-54 cm				6	4		26	74	11	93	133		61	54	8				50-54 cm
60-64 cm							49	92	14				102	24	6				60-64 cm
70-74 cm							179	152	98										70-74 cm
80-84 cm							375	143	141										80-84 cm
90-94 cm							416	121	74										90-94 cm

  
 Nematoda

  
 Oligochaeta

  
 Copepoda

Tab. 3. Die quantitative Verteilung der Nematoden, Oligochaeten und Copepoden in den verschiedenen Tiefenlagen der untersuchten bremischen Langsandsfilter

kehrt. Die Augenlosigkeit beider Varietäten deutet doch darauf hin, daß der subterrane Biotop als Ausgangsbereich der „Moosform“ anzusehen ist, daß also die unterirdisch lebende Form, zumindest in ihrer ökologischen Gebundenheit, als die ursprünglichere aufzufassen sein dürfte. Es hat also den Anschein, daß nicht nur die beiden Krebse, sondern auch *Lobohalacarus weberi quadriporus* einer Organismengruppe angehören, die von unterirdischen Lückensystemen aus den Übergang in die ökologisch verwandten Moospolsterlücken fand. In diesem Zusammenhang ist es unwesentlich, ob *Lobohalacarus weberi quadriporus* als Ursprungsform anzusehen ist, oder ob beide von einer gemeinsamen subterranean „Stammform“ ausgehen.

Auf Grund der Tatsache, daß innerhalb der untersuchten Sandfilter nur die überraschend geringe Anzahl von 9 biotoptypischen Tierarten zu verzeichnen ist, erhält die von A. Thienemann in seinem „Zweiten Biozönotischen Grundprinzip“ (56, pag. 10) dargelegte Gesetzmäßigkeit — „Je mehr sich die Lebensbedingungen eines Biotopes vom Normalen und für die meisten Organismen Optimalen entfernen, um so artenärmer wird die Biozönose, um so charakteristischer wird sie“ — eine eindrucksvolle Bestätigung. Auf welche hervorstechende Weise bei den quantitativen hydrobiologischen Untersuchungen an bremischen Sandfiltern auch die weitere Aussage des „Zweiten Biozönotischen Grundprinzips“, nach der die einzelnen Arten in um so größerer Individuenzahl auftreten, je eintöniger, extremer und damit artenärmer eine Lebensstätte wird, soll im folgenden aufgezeigt werden.

## 6. Die quantitative Zusammensetzung der Filtersandfauna

Die bisher gültige Anschauung hinsichtlich des Ausmaßes einer tierischen Besiedlung der Lückensysteme von Filtersanden faßt H. Beger (4, pag. 238) wie folgt zusammen: „Der von den tierischen Kleinlebewesen besiedelte Einzugsbereich innerhalb des Filterkörpers erstreckt sich bei normalem Filterbetrieb bis in etwa 5 cm Tiefe und nimmt von dort rasch ab. Bereits in 20 cm Tiefe ist diese Art der Besiedlung so gut wie erloschen, so daß von dort ab der biologische Aufbereitungsvorgang ausschließlich auf bakterieller Grundlage verläuft.“

Es stellte sich jedoch bereits bei der ersten stichprobenartig ausgeführten hydrobiologischen Untersuchung einer Sandprobe aus 20–30 cm Tiefe des Filterkörpers heraus, daß die oben zitierte Anschauung zumindest nicht allgemeingültig ist, wurden doch in der zunächst untersuchten Menge von 1 Liter Filtersand Tausende von mehrzelligen Organismen festgestellt, unter denen Nematoden und Oligochaeten das Schwergewicht der Biomasse ausmachten, während Turbellarien, Harpacticiden und Halacariden eine mengenmäßig wesentlich geringere Rolle spielten. Nach diesen überraschenden Ergebnissen wurde die quantitativ zu untersuchende Sandmenge auf 100 cm herabgesetzt, damit eine vergleichende zahlenmäßige Erfassung der Organismen in einem zu bewältigenden Maße erfolgen konnte. Die durch Auszählung der in je 100 cm Sand verschiedener Tiefenlagen in den untersuchten Filtern ermittelte Anzahl von Nematoden, Oligochaeten, Ruderfußkrebsen und Wassermilben geht aus Tabelle 3 hervor. Die darin zusammengestellten Werte zeigen, daß die Biomasse in den untersuchten Tiefen der

Filtersande von Fall zu Fall ein sehr verschiedenes Ausmaß erreicht. Doch ist wohl sicher nicht zu erwarten, daß diese unterschiedliche quantitative Zusammensetzung der Filtersandfauna sprunghaft in Erscheinung tritt, zumal da keine plötzlichen Veränderungen in der Korngröße des Sandes gegeben sind und auch der Chemismus des Wassers sich zur Basis des Filterkörpers hin nur gleitend verändern dürfte. Es ist daher anzunehmen, daß die jeweils zwischen

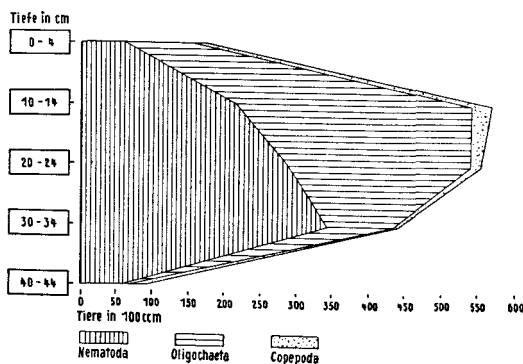


Abb. 5. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna im Filter 4 / 18. 9. 1956

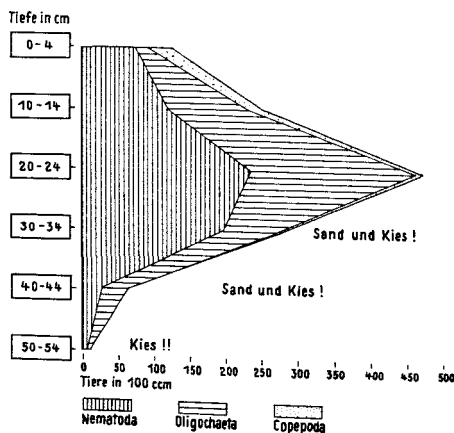


Abb. 6. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna im Filter 8 / 4. 8. 1956

zwei untersuchten Zonen liegenden, nicht erfaßten Filtersandschichten hinsichtlich des zahlenmäßigen Gefüges ihrer Lebensgemeinschaften als Übergangsbereiche zwischen den über- bzw. unterlagernden bearbeiteten Biotopabschnitten zu werten sind.

Zur Veranschaulichung der vertikalen quantitativen Verteilung der nach systematischen Einheiten gegliederten Filtersandfauna erscheint es daher berechtigt, die erhaltenen Zahlenwerte zu einer entsprechenden Kurve zu verbinden, wie es in den folgenden Diagrammen (Abb. 5, 6, 7, 8, 9) ausgeführt worden ist. All diese Kurvenbilder lassen erkennen, daß in keinem der bisher

untersuchten Langsamfilter die größte Individuendichte der Intergranularfauna in den oberen 5 cm der Filterkörper liegt, welche letztere Zone doch von *H. Beger* als Schwerpunktgebiet für eine allerdings spärliche tierische Besiedlung genannt wird (4, pag. 238). Im deutlichen Gegensatz zu dieser landläufigen Annahme erweist sich allgemein gerade die dicht unter der Sandoberfläche

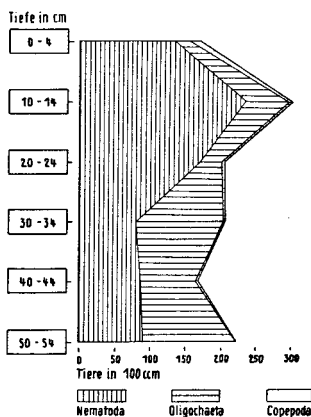


Abb. 7. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna in Filter 14 / 2. 8. 1956

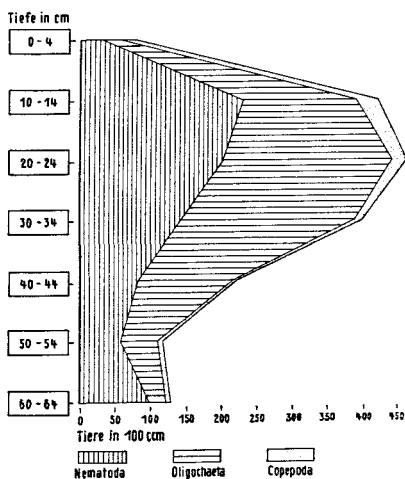


Abb. 8. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna im Filter 20 / 10. 12. 1956

liegende Zone der Filterkörper als der bei weitem am wenigsten besiedelte Tiefenbereich.

In noch größerem Gegensatz stehen die vorliegenden Ergebnisse zur weiteren Feststellung *H. Beger's*, daß nämlich in Filtersandschichten ab 20 cm Tiefe eine Besiedlung durch mehrzellige Tiere so gut wie erloschen sei (4, pag. 238). Auch in dieser Hinsicht bot sich überzeugend ein genau umgekehrtes Bild. Ausgerechnet in einer Tiefenlage von 20–24 cm unter der Sandoberfläche



fläche erreichen die tierischen Besiedler der intergranularen Mikrokavernen durchweg ihre höchste Individuenzahl. Im Filter 22 (Abb. 9) verlagert sich diese optimale Zone sogar in eine Tiefe von 30 cm, ohne daß bis zur Basis dieses Sandkörpers — in 42 cm Tiefe — eine wesentliche Veränderung des quantitativen Faunenbildes zu verzeichnen ist. Wie aus einem Vergleich der Diagramme weiterhin hervorgeht, liegen die höchsten Werte der Gesamtorganismenmenge von jeweils 100 cm Filtersand zwischen 294 und 611 Würmern, Krebsen und Wassermilben. Mit anderen Worten können, nach den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen, in einem Liter Filtersand bis zu etwa 6000 Sandlückenbewohner leben! Wenn auch berücksichtigt werden muß, daß die Werte der gezählten Oligochaeten mit gewissem Vorbehalt zu beurteilen sind, weil beim Auslesen mittels einer Binokularlupe unter Umständen einzelne zerrissene Tiere als 2 oder gar 3 Exemplare gezählt worden sein könnten, so würde selbst ein völliges Außerbetrachtlassen der Oligochaeten den obengenannten Maximalwert nicht erheblich unter 5000 Individuen in einem Liter Sand herabsinken lassen.

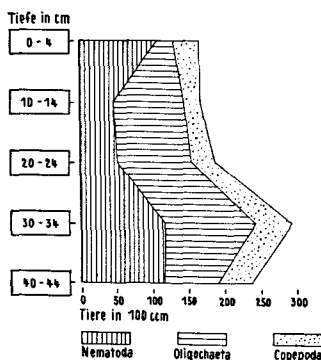


Abb. 9. Die vertikale Verteilung der Filtersandfauna in Filter 22 / 27. 6. 56

Wenn in einer ursprünglich als nahezu organismenleer angesehenen Lebensstätte derartige Organismenballungen erkannt werden, liegt es besonders nahe, festzustellen, welche systematischen Gruppen als Hauptproduzenten solcher Biomasse in der Lebensgemeinschaft hervortreten. Wie aus einem Vergleich der Kurvenbilder (Abb. 5—9) entnommen werden kann, vermag bei Gegenüberstellung der verschiedenen Filtertiefen der Produktionsschwerpunkt sowohl bei den Nematoden als auch bei den Oligochaeten zu liegen. Innerhalb der gesamten untersuchten Proben von jeweils 100 cm Sand überwiegen jedoch die Nematoden mit 4930 Individuen vor 4046 Oligochaeten. Diesen Würmern gegenüber spielen die Ruderfußkrebse (Copepoda) mit 564 Individuen eine erheblich untergeordnete Rolle. Einen noch geringeren Ausschlag hinsichtlich der quantitativen Gestaltung des Faunenbildes gibt die Individuenzahl der Wassermilben (Halacarida). Obwohl auch diese Tiere alle Tiefen der Filtersandschichten besiedeln, wurden in den einzelnen Proben immer nur einige Exemplare angetroffen. Es wurde daher davon abgesehen, die Anzahl der jeweils gefundenen Milben in unseren Diagrammen überhaupt zu berücksichtigen.

## 7. Der natürliche Biotop der bremischen Filtersandfauna

Da das Flußbett der Weser, aus dem die Sande der untersuchten Langsamfilter gewonnen werden, gerade im Raum Bremen stellenweise strandartige Sanduferbildungen aufweist, bieten sich hier außerordentlich günstige Gelegenheiten, die künstliche intergranulare Lebensstätte mit der natürlichen zu vergleichen. Hierzu erschien das Sandufer von Bremen-Blumenthal auf Grund seiner durch Buhnen stabilisierten Ablagerungen besonders gut geeignet. In dieser Strandzone ausgeführte Vergleichsuntersuchungen ergaben, daß die dortigen subterranean Lebensgemeinschaften sich aus den gleichen systematischen Organismengruppen zusammensetzen, wie jene der bremischen Sandfilter. Innerhalb der Biozönose des Blumenthaler Sandstrandes konnten die wesentlichen produktiven Faunenelemente der Filtersandfauna wiedergefunden werden:

### Nematoda:

*Chromadorita leuckarti* (DE MAN) FILIPJEW

*Tripyla cornuta* SKWARRA

*Mononchus kastrolli* n. sp. (ALTHERR in litt.)

### Copepoda:

*Nitocra reducta* SCHÄFER

*Epactophanes richardi* MRAZEK

Es kann damit gerechnet werden, daß auch *Phyllognathopus viguieri* (MAUPAS) im Grundwasser von Sandablagerungen der Weser vorkommt, wurde doch dieser Ruderfußkrebs in einer nicht weit von Bremen entfernten Lebensstätte ähnlicher Beschaffenheit — im Strandgrundwasser des Selenter Sees — von W. Noodt nachgewiesen (38, pag. 332). Auch die Wassermilbe *Lobohalacarus weberi quadriporus* (WALTER) ist im sandigen Weserufer zu erwarten, zumal da sie bisher nur aus dem ufernahen intergranularen Grundwasser bekanntgeworden ist. Die gegenüber den Befunden in Filtersanden (Abb. 5—9) wesentlich dünnere Besiedlung des natürlichen Biotopes (Abb. 10)

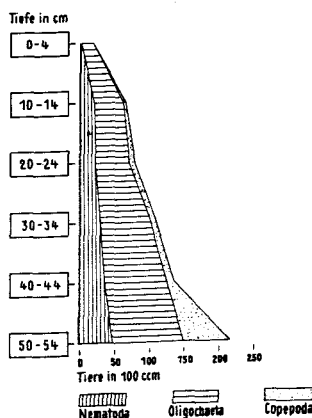


Abb. 10. Die vertikale Verteilung der intergranularen Grundwasserfauna im Sandstrand von Bremen-Blumenthal 5. 12. 1956

ist zweifellos darauf zurückzuführen, daß der ständig in die Filtersande einströmende reiche Nahrungsanfall Massenentwicklungen bestimmter Faunenelemente im künstlichen Biotop ermöglicht. Hierauf wird in anderem Zusammenhang (pag. 113) näher eingegangen werden.

### 8. Die Bildung der Populationen in den Filtersandschichten

Das Auffinden der charakteristischen Filtersandorganismen im Sandstrand von Bremen-Blumenthal gibt deutlich die Herkunft der Filterfauna zu erkennen. Diese Tiere überdauern offenbar die Sandwäsche, um sich dann im intergranularen Bereich des Filters bei reichem Nahrungsangebot anzusiedeln

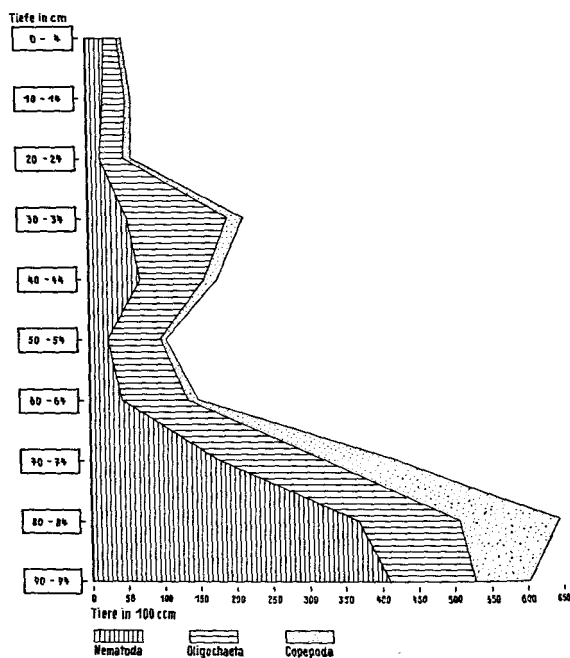


Abb. 11. Die Neubesiedlung einer Schicht gewaschenen Filtersandes (0–50 cm Tiefe). Unterhalb 50 cm Tiefe: altgelagerter Sand. Besiedlungsdauer:  $3\frac{1}{2}$  Monate

und individuenreiche Populationen zu bilden. Die hydrobiologische Untersuchung des am 4. 8. 1956 mit gewaschenem Sand aufgefüllten Filters 8 ergab am 17. 11. 1956 eine vertikale Organismenverteilung (Abb. 11), bei der die Tiefenlage der größten Organismendichte in etwa 30 cm Tiefe außerordentlich eindrucksvoll in Erscheinung tritt, während demgegenüber die oberen Sandlagen nur verhältnismäßig spärlich besiedelt sind (s. pag. 107). Im vorliegenden Falle wurde der gewaschene Sand übrigens auf die Oberfläche des „altgelagerten“ Filterkörpers geschüttet, die in Abb. 11 in etwa 50 cm Tiefe liegt. Alle unter dieser alten Oberfläche im Diagramm erscheinenden Besiedlungsverhältnisse stehen in diesem Zusammenhang nicht zur Diskussion.

### 9. Die Infiltration von Sandlückenorganismen ins Wasserleitungsnetz

Die Befunde an bremischen Langsamsandfiltern, aus denen hervorgeht, daß die intergranularen Lückensysteme von Filtersandschichten in bestimmten Tiefenzonen massenhaft von Fadenwürmern, Ringelwürmern und Ruderfußkrebse besiedelt werden, lassen mit der Möglichkeit rechnen, daß beträchtliche Mengen dieser makroskopischen Tiere ins Filtrat — und damit ins Trinkwasser — gelangen. Eine Reihe von Untersuchungen zeigte jedoch, daß dem nicht so ist. Die naturgegebene Reaktion der Würmer auf den konstanten Sog des den Filterkörper durchströmenden Wassers bewirkt vielmehr eine Verankerung der Tiere im Substrat und damit eine Verhinderung des Vom-Wasserstrom-Mitgerissenwerdens, insofern, als die Nematoden sich überaus aktiv an Sandkörnern festzusaugen vermögen, während die Oligochaeten sich mit den Substratkomponenten zu verspinnen pflegen.

	4.2.1956	11.6.1956	19.9.1956	15.11.1956	11.12.1956
<i>Turbellaria</i>	—	4	—	—	—
<i>Nematoda</i>	—	2	—	—	2
<i>Oligochaeta</i>	—	3	7	—	5
<i>Harpacticoida</i>	46	80	8	17	83
<i>Halacarida</i>	—	1	—	—	1

Tab. 4. Das Auftreten von Filtersandorganismen im Trinkwasser

Es kann daher nicht überraschend sein, daß die Untersuchungen des Filtrates Befunde ergaben, die irgendwelche Bedenken hygienischer Natur völlig ungerechtfertigt erscheinen lassen (Tabelle 4). Würmer und Wassermilben treten im Filtrat praktisch nicht in Erscheinung, zumal da zu berücksichtigen ist, daß die angegebenen Zahlen sich auf Ergebnisse von „24-Stunden-Netzfiltraten“ beziehen. Allein die harpacticoiden Copepoden (Ruderfußkrebse) treten zeitweise in größerer Anzahl im Trinkwasser auf. Doch nach unserer bisherigen Kenntnis berechtigt diese Tatsache ebenfalls zu keinen Einwänden in hygienischer Richtung, da diese Tiere keine pathogene Bedeutung haben. Sie sind außerdem von so geringer Körpergröße, daß sie unbefangenen Konsumenten nicht auffallen dürften. Daher scheiden auch aus ästhetischen Motiven begründete Einwände gegen ein Vorhandensein dieser Krebse im Trinkwasser aus. Wer würde andererseits auf einen Trunk klaren Quellwassers verzichten wollen, weil harmlose Grundwassertiere darin zu erwarten sind ?!

### 10. Die Langsamsandfiltration als limnologisches Problem

Bei der weitgehenden Spezialisierung der naturwissenschaftlichen Forschung kann es nicht ausbleiben, daß Probleme, die auf den Überschneidungszonen verschiedenartiger Wissenschaften liegen, noch nicht umfassend geklärt werden konnten. Das gilt auch für die Deutung des Phänomens der langsamen Sandfiltration, deren Effekt zweifellos vom Zusammenwirken besonders verschiedenartiger Faktoren ausgelöst wird. Daher dürfte das Geschehen dieser ein-

drucksvollen Wasseraufbereitung erst dann einer umfassenden Klärung nähergebracht werden, wenn wirklich alle bei der Sandfiltration wirksam werdenden Faktoren von den einschlägigen wissenschaftlichen Fachrichtungen — Physik, Chemie, Bakteriologie und Zoologie — im einzelnen erforscht worden sind.

Wenn K. Kiskalt 1915 (27, pag. 57) in seiner Abhandlung „Zur Theorie der langsamen Sandfiltration“ einleitend feststellt „Trotz der weiten Verbreitung der langsamen Sandfiltration und trotz zahlreicher Versuche kann die Art und Weise ihrer Wirkung noch nicht für geklärt gelten“ und wenn 40 Jahre später A. van de Vloed auf einem internationalen Kongreß von Wasserfachleuten in London erklärt: „Die Sandfiltration ist in sich selbst paradox und kommt einem, der davon hört, noch paradoxer vor“ („Sand filtration is in itself paradoxical and remarks one hears about it are even more paradoxical!“ (60, pag. 1), so wird damit deutlich, wie wenig man inzwischen einer erschöpfenden Erklärung der Naturerscheinung Sandfiltration nähergekommen ist. Es wird im Gegenteil in den Worten van de Vloed's festgestellt, wie weit man noch davon entfernt ist, wenigstens die physikalischen, chemischen und biologischen Teilvorgänge der Sandfiltration erfaßt zu haben. Wie augenfällig diese Lücke insbesondere in Hinblick auf den „Biologischen Faktor“ ungeschlossen blieb, geht daraus hervor, daß man bisher den mehrzelligen Organismen eine besondere Bedeutung bei der in Filtersanden vor sich gehenden „Biologischen Selbstreinigung“ absprach, weil man ihr massenhaftes Vorkommen in Sandfilterkörpern einfach nicht vermutete. Die Auffassung, daß in den Lückensystemen von Langsamsandfiltern allein Bakterien und Protisten als wesentliche Auslöser eines biologischen Reinigungseffektes anzusehen seien (Beger, 4, pag. 238), ist auf Grund vorliegender Untersuchungen wohl nicht mehr haltbar, sind doch die bisher nur fragmentartig erfaßten biologischen Vorgänge in Sandfiltern offenbar weitaus komplexerer Natur, insofern als in Filtersanden zweifellos mikrobiologische Vorgänge mit makrobiologischen Lebensäußerungen verknüpft zur Wirkung kommen. Erst wenn dieses mikro- und makrobiologische Zusammenspiel im einzelnen erfaßt worden ist, kann die Kenntnis des hier behandelten biologischen Faktors als ausreichend angesehen werden, um das seinerseitige Zusammenwirken mit chemischen und physikalischen Teilvorgängen der Sandfiltration zu klären und auf diese Weise zu einer Gesamtbedeutung des Problems kommen zu können.

Mit der Feststellung, daß der Prozeß der langsamen Sandfiltration offenbar als Zusammenwirkung physikalischer, chemischer, mikro- und makrobiologischer Vorgänge abläuft, löst sich die Erforschung des Geschehens in Sandkörpern von Langsamfiltern bereits von allzufest geknüpften Bindungen an verschiedenartige, für sich allein eine Lösung des Problems erstrebende grundlegende Wissenschaften — Chemie, Physik, Bakteriologie, Zoologie — und wird zu einem Forschungsvorhaben der Limnologie, der „allumfassenden Wissenschaft von den Binnengewässern“ (Thienemann). Es erscheint daher ratsam, alle zu erfassenden Teilprobleme der Sandfiltration von vornherein unter limnologischen Gesichtspunkten zu beurteilen, ganz gleich, aus welcher Fachrichtung versucht wird, eine Deutung für das Geschehen der Langsamsandfiltration zu finden.

Das Wesen der hier betonten Ganzheit von miteinander verknüpften chemisch-physikalisch-biologischen Vorgängen kann durch die beiden ökolo-

gischen Begriffe „Lebensraum“ und „Lebensgemeinschaft“ gekennzeichnet werden. Denn eines dürfte bereits aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen hervorgehen: Sandfilter sind keine maschinellen Einrichtungen, sondern von biotopgemäßen Lebensgemeinschaften besiedelte künstliche Binnengewässer extremer Natur.

Bei einer unter limnologischen Gesichtspunkten erfolgenden Einordnung vorstehender Ergebnisse hydrobiologischer Sandfilter-Untersuchungen in das Gesamtproblem würde das in Langsamsandfiltern ablaufende Reinigungs-geschehen in groben Zügen etwa im Sinne folgender Arbeitshypothese verlaufen können: Der mit gewaschenem Sand neuaufgefüllte Langsamfilter stellt zunächst nur ein zum Einarbeiten bereites „Raumsieb“ dar. Sobald jedoch mit Inbetriebnahme der Anlage die intergranularen Lückensysteme von hindurch-sickerndem Wasser erfüllt sind, kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen den Energien des Wassers und jenen der Substratoberflächen. Die bei diesen adsorptiven dia- und katalytischen Grenzschichtvorgängen aus dem durch-fließenden Wasser festgehaltenen, mit anorganischen Partikeln vermischten organischen Substanzen könnten sehr bald die interstitiellen Räume der Sand-schicht verstopfen, wenn die eingeschwemmten pflanzlichen und tierischen Zerfalls-Stoffe nicht einen außerordentlich günstigen Nährboden für die intergranularen Lebensgemeinschaften, die sich aus Mikro- und Makroorganismen zusammensetzen, bieten würden.

Zweifellos greifen bei der Konsumierung dieser ständig in die Sandlücken-systeme eingeschwemmten organischen Substanzen die Lebenstätigkeiten der Mikroorganismen und jene der Metazoen ausgleichend ineinander. So ist bei-spielsweise der mit dem ständig zufließenden Rohwasser nie abreißende Nah-rungszustrom im tätigen Filter vielfach so reichlich, daß die bakterielle Minera-lisation organischer Stoffe bei weitem der Nahrungszufuhr nicht die Waage halten könnte und es daher zwangsläufig zu einer überaus schnellen Filter-verstopfung kommen müßte, wenn nicht irgendwie dem Einspielen eines „Bio-logischen Gleichgewichtes“ von Nahrungsangebot und -verbrauch aus-gleichend nachgeholfen werden würde. Einen solchen Ausgleich bewirken zweifellos die makroskopischen Sandlückenorganismen der Filterfauna, in-sofern als alles, was an organischen Stoffen nicht durch die Lebenstätigkeiten der Bakterien reduziert und mineralisiert wird, diesen mehrzelligen Faunen-elementen als Nahrungsbasis dient. Vor allem die geradezu massenhaft in Filter-sanden angetroffenen Würmer — bis zu über 5000 in einem Liter Sand — be-seitigen durch Nahrungsaufnahme ständig einen großen Teil der die Sand-lücken verstopfenden Substanzen mit den darin florierenden Bakterien. Sie schaffen somit immer wieder Raum für neueinströmende „Schmutzstoffe“, deren Abbau dann spontan von den Bakterien in Angriff genommen werden kann, wiederum bis auf die den Makroorganismen zufallenden Anteile, während andererseits der von den Würmern und Krebsen usw. ausgeschiedene Kot letzters der endgültigen Mineralisation durch Mikroorganismen — in einer durch Verdauungsvorgänge aufgeschlossenen Beschaffenheit — unterworfen werden wird.

Bei ausgeglichenem Verhältnis von Nahrungsangebot und -verbrauch würde sich zweifellos in Langsamsandfiltern nahezu ein „Biologisches Gleich-gewicht“ einstellen können, das dadurch gekennzeichnet wäre, daß die inter-

granulare Lebensgemeinschaft den stetigen reichlichen Nahrungszustrom fortlaufend zu verkraften in der Lage sein würde. Da aber der Detritusanfall und damit die Anreicherung der Lückensysteme des Sandes mit organischen Substanzen im Jahreslauf überaus wechselvoll ist, vermag die Sandlückenbiozönose zeitweise den Massenzustrom organischer Zerfallssubstanz nicht zu „verdauen“. So kommt es, daß die Sandlückensysteme in Zeiten erhöhter Zufuhr von Schweb- und Sinkstoffen verstopfen. Dann macht es die stetig geringer werdende Durchlaufmenge von Rohwasser notwendig, die Filteranlage mit neuem, gewaschenem Sand aufzufüllen.

## 11. Zusammenfassung

Die bremischen Sandfilter sind von einer artenarmen, aber massenhaft entwickelten Intergranularfauna besiedelt, die sich auf Grund morphologischer und physiologischer Eigenschaften in die Umweltsbedingungen der Filtersande einfügt und darin gemeinsam mit Mikroorganismen an der Auslösung eines biologischen Reinigungseffektes beteiligt ist.

Es wird die Anschauung vertreten, daß das Problem der Langsamfiltration nur auf ganzheitlicher, limnologischer Basis einer endgültigen Lösung entgegengeführt werden kann.

## Literatur

- [1] *Allgen, C. A.*, Über einige südschwedische Brackwasser- und Erdnematoden. Kungl. Fysiogr. Sällsk. Lund Förh. 19. Bd. Nr. 1. Lund 1949. pag. 3—19.
- [2] *Angelier, E.*, Recherches écologiques et biogéographiques sur la faune des sables submergés. Arch. Zool. Expér. et Gén. T. 90. fasc. 2. Paris 1953. pag. 37—162.
- [3] *Ax, P.*, Die Einwanderung mariner Elemente der Mikrofauna in das limnische Mesopsammal der Elbe. Verh. d. D. Zool. Ges. in Hamburg 1956. Leipzig 1957. pag. 428—435.
- [4] *Beger, H.*, Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. Schriftenr. Ver. f. Wasser-, Boden- u. Luftthygiene. Nr. 5. Stuttgart 1952.
- [5] *Chappuis, P. A.*, Die Metamorphose einiger Harpacticidengenera. Zool. Anz. 48. Bd. Leipzig 1916. pag. 20—31.
- [6] *Chappuis, P. A.*, *Viguiereella coeca* MAUPAS. Rev. Suisse Zool. 24. Bd. Genf 1916. pag. 522—564.
- [7] *Chappuis, P. A.*, Copepoda Harpacticoida der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition. Arch. f. Hydrobiol. Suppl.-Bd. VII. Tropische Binnengewässer I. Stuttgart 1931. pag. 512—584.
- [8] *Chappuis, P. A.*, Eine neue Methode zur Untersuchung der Grundwasserfauna. Acta Sc. Math. Nat. Univ. Francico-Jos. 6. Bd. Kolozsvár 1942. pag. 1—7.
- [9] *Chappuis, P. A.*, Die Grundwasserfauna der Körös und des Szamos. A Magyar Tudományos Akadémia Kiadása. Budapest 1944. pag. 1—42.
- [10] *Chappuis, P. A.*, Copépodes, Syncarides et Isopodes des eaux phréatiques de Suisse. Rev. Suisse Zool. T. 55. Genf 1948. pag. 549—566.
- [11] *Chappuis, P. A.*, Recherches sur la faune interstitielle des sédiments marins et d'eau douce à Madagascar. Mém. Inst. sci. Madag. A. 9. Bd. Paris 1954. pag. 45—173.
- [12] *Chappuis, P. A.*, Harpacticoides psammiques du Lac Tanganika. Rev. Zool. Bot. Afr. LI. Bruxelles 1955. pag. 68—80.
- [13] *Delachaux, Th.*, Zur Kenntnis der Copepodenfauna von Surinam. II. Harpacticiden. Zool. Anz. 59. Bd. Leipzig 1924. pag. 1—16.
- [14] *Delamare-Deboutteville, C.*, Eaux souterraines littorales de la Côte Catalane Française. Vie et milieu. T. V. Paris 1955. pag. 408—451.
- [15] *Dichtl, G.*, Die Grundwasserfauna im Salzburger Becken und im anschließenden Alpenvorland. Diss. Innsbruck 1956.

- [16] *Filippjew, I. N.*, Les Nématodes libres de la baie de la Neva et de l'extrémité orientale du Golfe de Finlande. Arch. f. Hydrobiol. 21. Bd. Stuttgart 1930. pag. 1—64.
- [17] *Gerlach, S. A.*, Freilebende Nematoden aus Varna an der bulgarischen Küste des Schwarzen Meeres. Arch. f. Hydrobiol. 45. Bd. Stuttgart 1951. pag. 193—212.
- [18] *Gerlach, S. A.*, Die biozönotische Gliederung der Nematodenfauna an den deutschen Küsten. Z. Morph. u. Ökol. Tiere. 41. Bd. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1953. pag. 411—512.
- [19] *Haine, E.*, Die Fauna des Grundwassers von Bonn mit besonderer Berücksichtigung der Crustaceen. Melle i. Hannover 1946.
- [20] *Hertzog, L.*, Crustaceen aus unterirdischen Biotopen des Rheintales bei Straßburg. I. Mitt. Zool. Anz. 114. Bd. Leipzig 1936. pag. 271—279.
- [21] *Hertzog, L.*, Crustacés de biotopes hypogées de la vallée du Rhin d'Alsace. Bull. Soc. zool. de France. T. LXV. Paris 1936. pag. 356—372.
- [22] *Hertzog, L.*, Crustaceen aus unterirdischen Biotopen des Rheintales bei Straßburg. III. Mitt. Zool. Anz. 123. Bd. Leipzig 1938. pag. 45—56.
- [23] *Husmann, S.*, Untersuchungen über die Grundwasserfauna zwischen Harz und Weser. Arch. f. Hydrobiol. 52. Bd. Stuttgart 1956. pag. 1—184.
- [24] *Husmann, S.*, Die Besiedelung des Grundwassers im südlichen Niedersachsen. Beitr. z. Natk. Nieders. 10. Jg. Hildesheim 1957. pag. 87—96.
- [25] *Karaman, St.*, Die Fauna der unterirdischen Gewässer Jugoslawiens. Verh. Int. Ver. Limnol. 7. Bd. Stuttgart 1935. pag. 46—73.
- [26] *Kiefer, Fr.*, Die Grundwasserfauna des Oberrheingebietes mit besonderer Berücksichtigung der Crustaceen. Beitr. nat. Forsch. Südwestdeutschland. 16. Bd. Karlsruhe 1957. pag. 65—91.
- [27] *Kisskalt, K.*, Untersuchungen über Trinkwasserfiltration. Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh. 80. Bd. Leipzig 1915. pag. 57—64.
- [28] *Klie, W.*, Ostracoden aus dem Grundwasser der Oberrheinischen Tiefebene. Arch. Naturgesch. N. F. 7. Bd. Leipzig 1938. pag. 1—28 (Sep.).
- [29] *Kunz, H.*, Harpacticoiden vom Sandstrand der Kurischen Nehrung. Kieler Meeresf. 3. Bd. Kiel 1940. pag. 148—157.
- [30] *Leruth, R.*, La biologie du domaine souterrain et la faune cavernicole de la Belgique. Mém. Mus. roy. Hist. nat. Belg. n° 87. Brüssel 1939.
- [31] *De Man, J. G.*, Die einheimischen, frei in der reinen Erde und im süßen Wasser lebenden Nematoden monographisch bearbeitet. Tijds. Nederl. Dierk. Ver. 5. Bd. Leiden 1881.
- [32] *Menzel, R.*, Über das Auftreten der Harpacticidengattungen *Epactophanes* MRAZEK und *Parasitenocaris* KESSLER in Surinam. Zool. Anz. 47. Bd. Leipzig 1916. pag. 145—152.
- [33] *Menzel, R.*, Over Mos bewonende Cyclopiden en Harpacticiden en over vrij levende terricole Nematoden van den Maleischen Archipel. Handel. Derde. Nederl. Indisch Natuurwetensch. Congres. s'Gravenhage 1924. pag. 298—309.
- [34] *Meyl, A. H.*, Freilebende Nematoden aus binnenländischen Salzbiotopen zwischen Braunschweig und Magdeburg. Arch. f. Hydrobiol. 50. Bd. Stuttgart 1955. pag. 468—614.
- [35] *Meyl, A. H.*, Über einige an den deutschen Küsten vorkommende Arten der Nematodengattung *Mononchus* BASTIAN 1863. Kieler Meeresf. 11. Bd. Kiel 1955. pag. 80—85.
- [36] *Motaş, C., Tanasachi, J. u. Orghidan, T.*, Über einige neue phreatische Hydrachnellae aus Rumänien und über Phreatobiologie, ein neues Kapitel der Limnologie. Abh. naturw. Ver. Bremen. 35. Bd. Bremen 1957. pag. 101—122.
- [37] *Noll, W. u. Stammer, H. J.*, Die Grundwasserfauna des Untermaingebietes von Hanau bis Würzburg mit Einschluß des Spessarts. Mitt. Naturw. Mus. Aschaffenburg. N. F. 6. H. Aschaffenburg 1953. pag. 1—77.
- [38] *Noodt, W.*, Subterrane Copepoden aus Norddeutschland. Zool. Anz. 148. Bd. Leipzig 1952. pag. 331—343.
- [39] *Noodt, W.*, Zur Kenntnis der *Nitrocræa reducta* SCHÄFER (Copepoda Harpacticoida). Zool. Anz. 159. Bd. Leipzig 1957. pag. 179—184.
- [40] *Ohl, A.*, Die Nachkriegsentwicklung der Wasserversorgung der Freien Hansestadt Bremen. GWF. 98. Jg. München 1957. pag. 911—914.



- [41] *Orghidan, T.*, Un nou domeniu de viață acvatică subterană: „Biotopol hiporeic”. Bul. ST. Sec. Biol. Acad. R. P. R. 7. Bd. Bukuresti 1955. pag. 637—676.
- [42] *Pennak, R. W.*, Ecology of the microscopic Metazoa inhabiting the sandy beaches of some Wisconsin lakes. Ecol. Monogr. 10. Bd. Durham 1940. pag. 537—615.
- [43] *Pierantoni, U.*, Due nuovi generi di oligocheti marini rinvenuti nel Golfo di Napoli. Boll. Soc. Nat. Napoli. 16. Bd. Napoli 1902. pag. 3—7.
- [44] *Remane, A.*, Das Vordringen limnischer Tierarten in das Meeresgebiet der Nord- und Ostsee. Kieler Meeresf. 7. Bd. Kiel 1950. pag. 5—23.
- [45] *Remane, A.*, Die Besiedelung des Sandbodens im Meere und die Bedeutung der Lebensformtypen für die Ökologie. Verh. d. D. Zool. Ges. in Wilhelmshaven 1951. Leipzig 1952. pag. 327—359.
- [46] *Remane, A.* u. *Schulz, E.*, Die Tierwelt des Küstengrundwassers bei Schilksee (Kieler Bucht) I. Das Küstengrundwasser als Lebensraum. Schrift. Naturw. Verein Schleswig Holstein. 10. Bd. Kiel 1935. pag. 399—408.
- [47] *Riech, Fr.*, Beiträge zur Kenntnis der litoralen Lebensgemeinschaften in der poly- und mesohalinen Region des Frischen Haffes. Schr. Phys.-ökon. Ges. Königsberg. 65. Bd. Königsberg 1926. pag. 32—47.
- [48] *Schäfer, H. W.*, Über die Besiedlung des Grundwassers. Verh. Int. Ver. Limnol. 11. Bd. Stuttgart 1951. pag. 324—330.
- [49] *Schneider, G.*, Zweiter Beitrag zur Kenntnis der Brackwasser-Nematoden Finnlands. Acta Soc. Fauna Flora Fennica. 56. Bd. Helsingfors 1926. pag. 1—47.
- [50] *Schneider, W.*, Nematoden der Salzquellen von Oldesloe. Mitt. Geogr. Ges. u. Nat. Mus. Lübeck. 2. Reihe. Lübeck 1925. pag. 148—151.
- [51] *Schneider, W.*, Zur Nematodenfauna der Salzquellen des Norddeutschen Flachlandes. I. Nematoden der Salzquellen von Oldesloe, Holstein. Arch. f. Hydrobiol. 15. Bd. Stuttgart 1925. pag. 209—226.
- [52] *Schwoerbel, J.*, Über einige Porohalacariden (Acari) aus dem südlichen Schwarzwald. Zool. Anz. 155. Bd. Leipzig 1955. pag. 146—150.
- [53] *Skwarra, E.*, Freilebende Nematoden Ostpreußens. Schr. Phys.-ökon. Ges. Königsberg. 63. Bd. Königsberg 1922. pag. 107—112.
- [54] *Szalay, L.*, Hydrachnellae und Porohalacaridae (Acari) aus unterirdischen Gewässern des Karpatenbeckens. Fragm. Faunist. Hung. T. XI. Budapest 1948. pag. 75—76.
- [55] *Szidat, L.*, Beiträge zur Faunistik und Biologie des Kurischen Haffes. Schr. Phys.-ökon. Ges. Königsberg. 65. Bd. Königsberg 1926. pag. 5—31.
- [56] *Thienemann, A.*, Die Grundlagen der Biozönotik und *Monard's* faunistische Prinzipien. Festschrift f. *Zschokke*. Nr. 4. Basel 1920.
- [57] *Thienemann, A.*, Die Tierwelt der *Nepenthes*-Kannen. Arch. f. Hydrobiol. Suppl. Bd. XI. Stuttgart 1933. pag. 1—54.
- [58] *Thienemann, A.*, Verbreitungsgeschichte der Süßwassertierwelt Europas. In: *A. Thienemann*: Die Binnengewässer. 18. Bd. Stuttgart 1950.
- [59] *Viets, K.*, In subterranean Gewässern Deutschlands lebende Wassermilben (Hydrachnellae, Porohalacaridae und Stygothrombiidae). *August Thienemann* zum 70. Geburtstag. Arch. f. Hydrobiol. 50. Bd. Stuttgart 1955. pag. 33—63.
- [60] *Van de Vloed, A.*, Comparison between slow sand and rapid filters. London 1955.
- [61] *Walter, C.*, Neue Acari (Hydrachnellae, Porohalacaridae, Trombidiidae) aus subterranean Gewässern der Schweiz und Rumäniens. Verh. Naturf. Ges. Basel, 58. Bd. Basel 1947. pag. 146—238.
- [62] *Wisniewski, J.*, Recherches écologiques sur le psammon et spécialement sur les Rotifères psammiques. Arch. Hydrobiol. Rybactwa. 8. Bd. Suwalki 1934. pag. 149—272.
- [63] *Ziegelmayr, W.*, Eine neue subterrane Harpacticidenform der Gattung *Viguerella*. Zool. Anz. 57. Bd. Leipzig 1923. pag. 129—137.

(Aus dem Zoologischen Institut der Technischen Hochschule Braunschweig [Direktor: Professor Dr. *Fr. Schaller*] und dem Hydrologischen Labor der Bremer Stadtwerke A. G.)

Anschrift des Verfassers:

Dr. *Siegfried Husmann*, Zoologisches Institut der Technischen Hochschule Braunschweig,  
Pockelsstraße 10a.